

И.Г. Миронова

## **ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ ВБЛИЗИ ИСТОЧНИКА ВЫБРОСА ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ ШАХТЫ**

*Установлены экспоненциальные зависимости изменения линейных размеров, массовых показателей, биологической урожайности озимой пшеницы и фитотоксического эффекта для первого поколения в зависимости от расстояния до источника выброса.*

---

### **ЗМІНА БІОЛОГІЧНИХ ОЗНАК ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ, ЩО ЗРОСТАЄ ПОБЛИЗУ ДЖЕРЕЛА ВИКИДУ ЗАЛІЗОРУДНОЇ ШАХТИ**

*Встановлено експоненціальні залежності зміни лінійних розмірів, масових показників, біологічної врожайності озимой пшениці та фітотоксичної ефекту для першого покоління залежно від відстані до джерела викиду.*

---

### **CHANGING OF BIOLOGICAL TRAITS OF WINTER WHEAT THAT VEGETATE NEAR EMISSION SOURCE OF IRON-ORE MINE**

*Exponential dependencies of linear sizes changing, massive indices and biological harvesting productivity according to distance to emission source are established.*

---

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Длительная добыча железных руд приводит к повышению уровня загрязненности атмосферного воздуха, водных объектов, земельных угодий и накоплению значительного количества горнопромышленных отходов, что значительно снижает уровень экологической безопасности в железорудных регионах Украины. В настоящее время как основные взрывчатые вещества (ВВ) железорудными шахтами Украины используются тротилосодержащие аналоги. После взрывных работ, связанных с добычей железной руды, отработанный воздух из шахт, насыщенный экологически опасными веществами, поступает в атмосферу через вентиляционные стволы без очистки. Это связано с тем, что на сегодняшний день не существует эффективно-

го оборудования для улавливания и очистки газов, поступающих на поверхность в значительных объемах. Такая ситуация приводит к изменению природных условий существования живых организмов, включая человека, уменьшению биоразнообразия, повышению уровня заболеваемости и сокращению продолжительности жизни населения.

Как известно, при взрывании 1 кг тротилосодержащих ВВ образуется 890 – 950 л токсичных газов [1]. Выполненный анализ технических показателей и производственной деятельности железорудных шахт Криворожского бассейна и Белозерского железорудного района позволил установить, что шахтами частного акционерного общества «Запорожский железорудный комбинат» (ЧАО «ЗЖРК») для добычи железной руды используется в среднем

2,9 млн кг тротилосодержащих ВВ в год, что в 5 – 7 раз больше чем на каждой железорудной шахте Кривбасса отдельно [2]. Поэтому прилегающая территория сельскохозяйственных угодий, на которой произрастают сельскохозяйственные культуры, является актуальным полигоном для проведения исследований изменения ростовых процессов озимой пшеницы под влиянием шахтных источников выброса.

Поэтому цель работы заключается в проведении исследований степени и характера повреждения озимой пшеницы, произрастающей в зоне влияния железорудной шахты.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Оценка степени повреждения озимой пшеницы проводилась на территории сельскохозяйственных угодий, прилегающих к железорудной шахте ЧАО «ЗЖРК» от северного вентиляционного ствола (СВС), из которого отработанная струя воздуха выбрасывается в атмосферу. Опираясь на сравнительный анализ видов экологического мониторинга состояния атмосферного воздуха был выбран наиболее целесообразный метод, основанный на изменении процессов онтогенеза озимой пшеницы под влиянием техногенной нагрузки [3].

Отбор пробных снопов с исследуемых площадок площадью в 1 м<sup>2</sup> производили на поле, расположенном севернее и северо-восточнее от СВС параллельно автомобильной дороге, ведущей от промышленной площадки ЧАО «ЗЖРК» в сторону с. Малая Белозерка (Запорожская обл.). Поле, имеющее размеры 700×1100 м, берет свое начало в 20 м от СВС в направлении с. Малая Белозерка и заканчивается в 30 м от водооросительного канала. Для исследования изменения ростовых процессов озимой пшеницы при техногенной нагрузке пробные площадки размещались на расстоянии 50, 100, 300, 500 и 1000 м от источника загрязнения воздуха. В связи с тем, что в условиях рыночной экономики

большинство сельскохозяйственных угодий взято в аренду частными юридическими лицами и учет сортов озимой пшеницы при их высаживании не производится, поэтому шестая пробная площадка размещалась на расстоянии 10 км от источника загрязнения и использовалась в качестве контрольной. Во избежание погрешности в результатах исследования отбор снопов озимой пшеницы вместе с корневой системой производили на расстоянии не менее 10 – 20 м от проезжей части, это связано с возможностью влияния на процесс развития растений дорожной пыли. Отбор пробных снопов озимой пшеницы проводили за 1 – 7 дней до начала сбора урожая в конце июня месяца 2011 года. Растительные пробы отбирали в утренние часы. Растения выкапывали вместе с корневой системой и укладывали снопом в полиэтиленовый пакет вместе с этикеткой, на которой указывали расстояние в метрах до источника выброса. Отобранные образцы снопов отправляли в лабораторию, где каждый по отдельности отобранный сноп озимой пшеницы выкладывали на бумаге, разделяя его на отдельные раскустившиеся растения из одной корневой системы. Помещение, где располагались пробные снопы, хорошо проветривалось. Температура воздуха в помещении составляла 20 – 24 °С. Для лучшего просушивания снопов пшеницы через каждые двое суток их переворачивали. После того как снопы пшеницы были высушены производили очистку корневой системы от почвы, других растений, насекомых, камней и т.д.

Одними из основных показателей онтогенеза озимой пшеницы являлись рост, биомасса, количество раскустившихся растений, колосьев, зерен в колосе. Рост учитывает линейные размеры корневой системы и надземной части растения. Измерение линейных размеров растения заключалось в измерении длины корневой системы, высоты растения и длину колосьев. Масса одного растения включала в себя измерение сухой фитомассы надземной и подземной (коревой системы) частей рас-

тения. Для измерения этих основных показателей продукционного процесса растений использовались линейка, электронные весы и фарфоровая чаша.

Озимая пшеница является одной из наиболее требовательных культур агрофитоценоза к воздействию факторов окружающей среды. Как было уже сказано, что эти факторы можно разделить на метеорологические и технологические. К основным технологическим факторам относятся зона выращивания, плодородие почвы, условия увлажнения и особенности применяемой технологии возделывания, а также техногенная нагрузка на озимую пшеницу. Метеорологические факторы включают в себя показатели погодных условий. Ведущая роль в формировании высокой продуктивности, свойств морозо- и зимостойкости озимых культур принадлежит температуре, свету, наличию в почве сбалансированного минерального питания и влаги. Анализ данных дневника погоды с 1 октября 2010 г. по 1 июля 2011 г. по метеостанции, расположенной в 10 км от промышленной площадки ЧАО «ЗЖРК» в с. Малая Белозерка, позволил установить, что погодные условия являлись благоприятными в вегетационный период озимой пшеницы [4].

Во время вегетационного периода озимая пшеница подвергается комплексной экологической нагрузке. Это проявляется в результате сельскохозяйственной деятельности, естественных процессов (водной и ветровой эрозии) и особенно техногенной нагрузки. Для установления характера изменения биологических признаков озимой пшеницы выполняли исследования показателей онтогенеза пробных снопов. Внешний вид снопов озимой пшеницы, отобранных с пробных площадок на разном расстоянии от источника выброса, представлен на рис. 1.

Результаты измерения линейных размеров и весовых показателей озимой пшеницы в зависимости от расстояния до источника выброса, представлены в табл. 1.

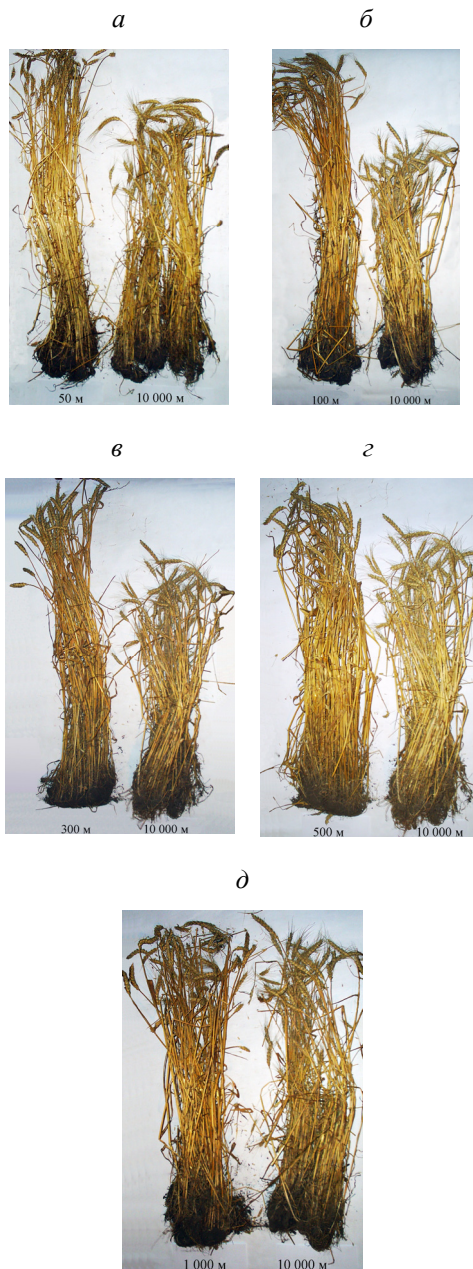


Рис. 1. Внешний вид снопов озимой пшеницы на расстоянии от источника выброса: 50 м (а), 100 м (б), 300 м (в), 500 м (г), 1000 м (д)

Общую картину уменьшения линейных размеров озимой пшеницы с увеличением расстояния от источника выброса можно

наблюдать по изменению длин колоса, стебля и корневой системы (рис. 2). Выполненный анализ значений величин линейных размеров пшеницы позволил установить, что вредные газы, исходящие из

вентиляционных стволов, оказывают существенное влияние на линейные размеры онтогенеза озимой пшеницы и способствуют их увеличению при приближении к источнику выброса.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОНТОГЕНЕЗА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

Таблица 1

Показатель	Расстояние от источника выброса, м					
	50	100	300	500	1000	10000
Длина колоса, см	7,5 (+15)	7,4 (+14)	7,2 (+11)	7,1 (+9)	6,7 (+3)	6,5
Длина стебля, см	84,4 (+50)	88,7 (+58)	73,7 (+31)	70,5 (+25)	62,0 (+10)	56,3
Длина корневой системы, см	12,7 (+23)	11,4 (+11)	10,8 (+5)	10,6 (+3)	10,4 (+1)	10,3
Масса зерен с одного растения, г	0,7 (-30)	0,8 (-20)	0,9 (-10)	1,0	1,0	1,0
Масса 1000 зерен, г	34,8 (-22)	35,9 (-20)	37,8 (-15)	40,1 (-10)	42,4 (-5)	44,6
Биологическая урожайность, ц/га	49,3 (-31)	51,2 (-28)	55,4 (-22)	62,4 (-12)	68,0 (-4)	71,2

Примечание: в круглых скобках приведено расхождение результатов относительно контроля, %



Рис. 2. Характер изменения линейных размеров озимой пшеницы с увеличением расстояния от источника выброса

Проведя аппроксимацию максимальных значений при помощи программы Microsoft Excel 2003, получены эмпирические уравнения зависимостей линейных размеров озимой пшеницы с увеличением расстояния от источника выброса  $L$ .

Для линейных размеров озимой пшеницы эмпирические зависимости имеют вид:

– длина колоса

$$l_{кол} = 7,5 \cdot e^{-0,0001L}, \text{ см, при } R^2 = 0,988,$$

где  $L$  – расстояние от источника выброса, м;

– длина стебля

$$l_{см} = 86,42 \cdot e^{-0,0004L}, \text{ см, при } R^2 = 0,912;$$

– длина корневой системы

$$l_{кс} = 11,88 \cdot e^{-0,0002L}, \text{ см, при } R^2 = 0,903.$$

Таким образом, линейные размеры озимой пшеницы с увеличением расстояния от всех источников загрязнения изменяются по экспоненциальной зависимости.

При выполнении дальнейших исследований общую картину увеличения весовых показателей озимой пшеницы с увеличением расстояния от источника выброса можно наблюдать по изменению массы зерен с одного растения и массы 1000 зерен (рис. 3, а и б). Анализируя значения весовых показателей пшеницы установлено, Анализ значений величин весовых показателей пшеницы позволил установить, что экологически опасные вещества, исходящие из

вентиляционных стволов, оказывают существенное влияние на весовые показатели озимой пшеницы и способствуют их увеличению при удалении от источника выброса.

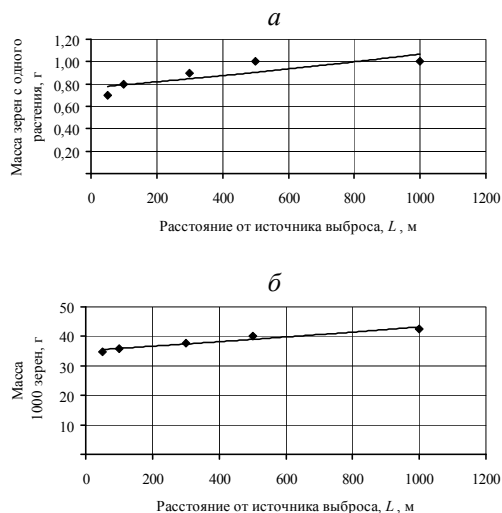


Рис. 3. Характер изменения массы зерен с одного растения (а) и массы 1000 зерен (б) в зависимости от расстояния до источника выброса

Проведя аппроксимацию максимальных значений при помощи программы Microsoft Excel 2003, получены эмпирические уравнения зависимостей весовых показателей озимой пшеницы с увеличением расстояния от источника выброса  $L$ .

Для весовых показателей озимой пшеницы эмпирические зависимости имеют вид:

– масса зерен с одного растения

$$M_3 = 0,77 \cdot e^{0,0003L}, \text{ г, при } R^2 = 0,905;$$

– масса 1000 зерен

$$M_{1000} = 35,2 \cdot e^{0,0002L}, \text{ г, при } R^2 = 0,941.$$

Таким образом, весовые показатели озимой пшеницы с увеличением расстояния от всех источников выброса изменяются по экспоненциальной зависимости.

По результатам исследования величин

биологической урожайности пшеницы установлено, что анализ значений величин биологической урожайности пшеницы позволил установить, что токсичные газы, исходящие из вентиляционных стволов, оказывают существенное влияние на урожайность озимой пшеницы и способствуют их увеличению при удалении от источника выброса. Особенности изменения урожайности озимой пшеницы в зависимости от расстояния до источника выброса приведены на рис. 4.

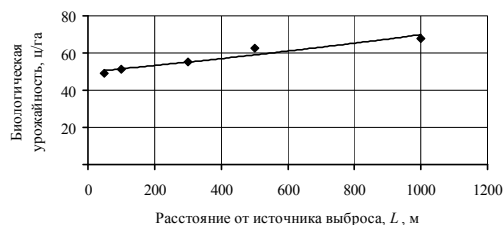


Рис. 4. Характер изменения биологической урожайности озимой пшеницы с увеличением расстояния от источника выброса

Проведя аппроксимацию максимальных значений при помощи программы Microsoft Excel 2003, получено эмпирическое уравнение зависимости биологической урожайности озимой пшеницы с увеличением расстояния от источника выброса  $L$ .

Для биологической урожайности озимой пшеницы эмпирическая зависимость имеет вид:

$$B_{биол} = 49,8 \cdot e^{0,0003L}, \text{ ц/га,}$$

$$\text{при } R^2 = 0,944.$$

Таким образом, биологическая урожайность озимой пшеницы с увеличением расстояния от источника загрязнения изменяется по экспоненциальной зависимости.

Установлено, что экологически опасные вещества, исходящие из вентиляционных стволов, оказывают существенное влияние на урожайность озимой пшеницы и способствуют их увеличению при удалении от источника выброса.

Контроль результатов изменения биологических признаков озимой пшеницы, произрастающей на разном удалении от источника выброса, выполняли по интенсивности прорастания зерен озимой пшеницы, получивший название «ростовой тест» [5, 6].

Для определения последствий техногенеза в первом поколении озимой пшеницы с каждой пробной площадки отбирались зерна пшеницы на расстоянии 50, 100, 300, 500 и 1000 м, а для контроля – зерна, отобранные на расстоянии 10000 м от источника выброса. С целью профилактики отобранные зерна протравливали в 1% растворе марганцовокислого калия в течение 30 минут, затем промывали дистиллированной водой, используя два слоя марли, после чего обсушивали на воздухе на фильтровальной бумаге. Затем отбирали зерна одного размера, а пораженные и поврежденные отбраковывали. Для эксперимента необходимо произвести дехлорацию

воды. Поэтому воду доводили до кипения и отстаивали в течение нескольких суток.

Проведение эксперимента заключалось в проращивании зерен озимой пшеницы. Для этого на фильтровальную бумагу, уложенную в лабораторной посуде, размещали 100 подготовленных зерен. Проращивание зерен озимой пшеницы осуществляли в течение 72 ч с поддержанием постоянной температуры окружающей среды, равной 25 °С, при этом через каждые 12 ч определяли количество проросших семян с целью оценки их всхожести. По истечении 3 суток определяли среднюю длину, сырую и сухую массы корней проростков зерен, отобранных на пробных площадках, которые и сравнивали с показателями зерен контрольной площадки (10000 м) для нахождения статистически достоверного отличия. Полученные результаты исследования последствий техногенеза в первом поколении озимой пшеницы представлены в табл. 2.

*РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ ТЕХНОГЕНЕЗА  
В ПЕРВОМ ПОКОЛЕНИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ*

*Таблица 2*

Наименование показателя	Расстояние от источника выброса, м					
	50	100	300	500	1000	10000
Количество проросших зерен, шт.	97	96	99	98	100	100
Средняя длина проростков, мм	19	21	22	23	27	27
Фитотоксический эффект по длине проростков, %	29,73	22,34	18,64	14,94	0,15	0
Средняя длина корневой системы, мм	30	36	38	40	47	47
Фитотоксический эффект по длине корневой системы, %	36,47	23,76	19,53	15,29	0,47	0
Средняя сырая масса, г	2	3	3	3	4	5
Фитотоксический эффект по сырой массе, %	60	40	40	40	20	0
Средняя сухая масса, г	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,8
Фитотоксический эффект по сухой массе, %	37,5	25,0	25,0	25,0	12,5	0

Выполненный анализ значений величин биологических признаков проросших зерен пшеницы позволил установить, что экологически опасные вещества, исходящие из вентиляционных стволов, оказывают существенное влияние на культуры

агрофитоценоза в первом поколении, и способствует увеличению техногенеза при приближении к источнику выброса. Дальнейшие исследования для выявления закономерностей изменения степени угнетения ростовых процессов по отношению к кон-

тролю по массе и длине ростков зерен озимой пшеницы позволили установить зависимости фитотоксического эффекта (ФЭ) с увеличением расстояния от источника выброса (рис. 7).

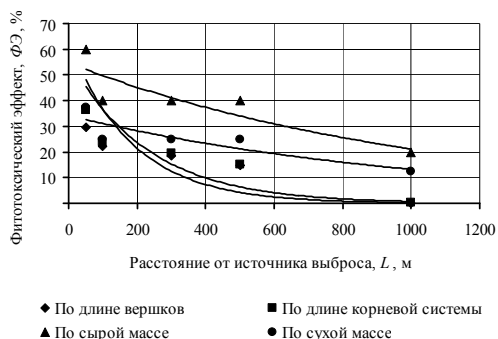


Рис. 7. Характер изменения фитотоксического эффекта с увеличением расстояния от источника выброса

Проведя аппроксимацию максимальных значений при помощи программы Microsoft Excel 2003, получены эмпирические уравнения зависимости фитотоксического эффекта с увеличением расстояния от источника выброса  $L$ .

Фитотоксический эффект озимой пшеницы, произрастающей на разном расстоянии от источника выброса, эмпирические зависимости имеют вид:

- по длине проростков

$$\Phi Э_v = 62,76 \cdot e^{-0,0054 \cdot L}, \%,$$

$$\text{при } R^2 = 0,916;$$

- о длине корневой системы

$$\Phi Э_k = 56,52 \cdot e^{-0,0043 \cdot L}, \%,$$

$$\text{при } R^2 = 0,95;$$

- по сырой массе

$$\Phi Э_{сыр.м} = 54,64 \cdot e^{-0,0009 \cdot L}, \%,$$

$$\text{при } R^2 = 0,906;$$

- по сухой массе

$$\Phi Э_{сух.м} = 34,15 \cdot e^{-0,0009 \cdot L}, \%,$$

$$\text{при } R^2 = 0,905.$$

Результаты исследования техногенного влияния на процессы онтогенеза озимой пшеницы хорошо сопоставимы с результатами исследования последствий техногенеза в первом поколении культур агрофитоценоза и характеризуются удовлетворительной сходимостью, соответствующей 92%.

## ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований на территории размещения железорудных шахт был выполнен анализ изменения биологических признаков озимой пшеницы, произрастающей на разном удалении от источника загрязнения. Исследования показали, что линейные размеры пшеницы вблизи источника выброса увеличиваются, а с удалением от него уменьшаются, а весовые показатели, наоборот, вблизи – уменьшаются, а с увеличением расстояния – увеличиваются. Дальнейшие исследования позволили установить зависимости изменения биологических признаков с увеличением расстояния от источника выброса, которые изменяются по экспоненциальному закону.

Экологически опасные вещества, исходящие из источника выброса, оказывают существенное влияние на озимую пшеницу в первом поколении и способствуют увеличению техногенеза при приближении к нему. Фитотоксический эффект в условиях техногенеза для первого поколения озимой пшеницы зависит от расстояния до источника выброса и изменяется по экспоненциальному закону.

Установлен характер изменения онтогенеза озимой пшеницы в условиях техногенеза железорудной шахты. Выполненный анализ полученных результатов исследования подтверждает необходимость

разработки комплекса природоохранных технологий, позволяющих повысить уров-

ни экологической безопасности при подземной добыче железных руд.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поздняков З.Г. Справочник по промышленным взрывчатым веществам и средствам взрыва / З.Г. Поздняков, Б.Д. Росси. – 2-е изд. – М.: Недра, 1977. – 253 с.

2. Горнорудное дело Украины в сети Интернет: справочник / [Хоменко О.Е., Кононенко М.Н., Владыко А.Б. и др.]. – Д.: НГУ, 2011. – 288 с.

3. Методическое руководство по исследованию смешанных агрофитоценозов / [Ламан Н.А., Самсонов В.П., Прохоров В.Н. и др.]. – Мн.: Наука і тэхніка, 1996. – 101 с.

4. Дневник погоды в Малой Белозерке: Gismeteo прогноз погоды: [Электронный ресурс]. – режим доступа: <http://www.gismeteo.ru/diary/13429.htm>

5. Биоиндикация загрязнений наземных экосистем: пер. с нем. под ред. Р. Шуберта. – М.: Мир, 1988. – 350 с.

6. Чеснокова С.М. Биологические методы оценки качества объектов окружающей среды: учеб. пособ. в 2 ч. Ч. 2. Методы биотестирования / С.М. Чеснокова, Н.В. Чугай. – Владимир: Владим. гос. ун-т, 2008. – 92 с.

## ОБ АВТОРАХ

Миронова Инна Геннадиевна – к.т.н., доцент кафедры экологии Национального горного университета.